

BIOFILMEK ÁLTAL TÁROLT KÉMIAI ÉS BIOLÓGIAI INFORMÁCIÓK

Doktori értekezés tézisei

Kröpfl Krisztina Judit

Témavezető: Dr. Záray Gyula, egyetemi tanár, DSc

ELTE TTK Hevesy György Kémia Doktori Iskola

Iskolavezető: Dr. Császár Attila, egyetemi tanár, DSc

**Analitikai kémia, anyagtudomány, kolloid- és
környezetkémia, elektrokémia program**

Programvezető: Dr. Kiss Éva, egyetemi tanár, DSc



**MTA
ÖKOLÓGIAI
KUTATÓKÖZPONT**

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar

Budapest, 2019

I. BEVEZETÉS

Az emberiség technikai, technológiai fejlődése és a népesség gyarapodása együtt jár a természetes környezet megváltoztatásával, a környezeti elemek kizsákmányolásával és a környezetszennyezéssel. Az emberi tevékenység hatására a környezeti rendszerek tulajdonságai folyamatosan módosulnak és ezek a változások gyakran előre nem várt reakciókat eredményeznek, amelyeknek hosszú távú következményei lehetnek az élő és élettelen környezetünkre, valamint az emberiségre.

A vízi környezetben bekövetkező szennyezések közvetlenül vagy közvetve hatnak a felszíni vizek minőségére, ezáltal a vízkészletek és a vízi ökoszisztéma állapotára. A felszíni és a felszín alatti vizeink védelme érdekében megfelelő szabályozás, állapotfelmérés és rendszeres vízminőség-vizsgálat (monitoring) szükséges. A felszíni vizek monitoringja a Víz Keretirányelv (VKI, 2000/60 EK) előírásai szerint kiterjed az ökológiai és a kémiai állapot szempontjából indikatív elemek meghatározására. A monitorozás új elemei a korábbi gyakorlathoz képest, hogy vizsgálni kell a kémiai paramétereket és a hidromorfológiai viszonyokat is, valamint fontos szerepet kap benne az ökológia, bizonyos élőlény-együttesek vizsgálata.

Ilyen élőlény-együttesek a biofilmek, más néven perifiton közösségek, amelyek a vízbe merülő objektumokon megtelepedő és fejlődő élőlények – döntő részben algák és baktériumok – közösségei. A biofilmek alkalmasak egy adott vízi környezet jellemzésére, illetve a vízi környezetet ért szennyezések kimutatására. Ahhoz, hogy ezeket az élőlény-közösségeket biomonitorozási célra használhassuk fel, nélkülözhetetlen a kolonizációs folyamat (a közösség kialakulásának folyamata) ismerete, a kolonizációt befolyásoló tényezők vizsgálata, valamint egyes szennyezőanyagok perifiton közösségekre gyakorolt hatásainak tanulmányozása.

Doktori munkám során az MTA Duna-kutató Intézetének és az ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszékének munkatársaival együttműködve a Velencei-tóban – mint antropogén szennyezésektől gyakorlatilag mentesnek tekinthető víztestben – fejlődött biofilmeket vizsgáltam. A kísérleteink megtervezésekor célul tűztük ki a kolonizációs folyamat idő- és alzatfüggésének vizsgálatát, a monitorálásra felhasználható biofilmek kialakulásához szükséges időtartam, valamint a mintázáshoz ideálisan alkalmazható alzat meghatározását a Velencei-tó esetében.

Kutatásaink másik felében modellkísérleteket végeztünk két szervetlen nyomszennyező – az ólom és a nikkel – által okozott vízszennyezés perifiton közösségekre gyakorolt hatásainak tanulmányozása céljából.

Kísérleteink során a biofilmeket algológiai, bakteriológiai és elemanalitikai vizsgálatoknak vetettük alá. Az elemanalitikai vizsgálatokat megfelelő mintaelőkészítést követően totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrométerrel (TXRF) végeztem. A TXRF-méréstechnika előnyösen alkalmazható a biofilm-minták vizsgálatára, mert a minta vékony rétegének köszönhetően a mintamátrix nem okoz zavaró hatásokat. További előnye ennek az analitikai módszernek, hogy a mennyiségi meghatározás elvégzéséhez igen kis mintamennyiség elegendő, valamint az automata mintaadagolásnak és a viszonylag rövid integrálási időeknek köszönhetően nagy számú minta analízise rövid idő alatt elvégezhető.

Kutatásaink során tanulmányoztuk a kolonizációs folyamatok kezdeti szakaszát, melynek keretében a biológiai vizsgálatok mellett a korábbi kísérleteinkben vizsgált elemek meghatározásának lehetőségével foglalkoztam totálreflexiós röntgenfluoreszcens módszer direkt alkalmazásával.

II. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS KÉSZÜLÉKEK

II.1. Mintavétel

Kísérleteink során a mintatartót a Velencei-tavi Tófelügyelőség stégje mellett, egy parthoz közeli, nádövezte kis „öbölbe” (koordinátái: É 47°11'50,76", K 18°40'42,67") helyeztük ki. A plexi mintatartóba 20-20 db alzatot tettünk és a mintatartót a víz felszínétől kb. 20-30 cm mélységben rögzítettük. A kolonizáció időfüggésének vizsgálatára a kihelyezést követően hetente vettünk mintát a 9. hétig. Az alzatfüggés tanulmányozásánál a mintavételt a mintatartó kihelyezése után 6 héttel végeztük el, három évszakban. A mintavételek során a biofilmeket az elemanalitikai vizsgálatokhoz kerámia szikével eltávolítottuk az alzatokról és polipropilén edényekben, hűtőtáskában a laboratóriumba szállítottuk. A biológiai vizsgálatokhoz a perifiton közösségeket steril fiziológiás sóoldatot tartalmazó Erlenmeyer-lombikokba mostuk be, majd háromfelé osztottuk a klorofill-a tartalom meghatározása, valamint az algológiai és a bakteriológiai vizsgálatok elvégzése céljából.

A nikkel- és ólomszennyezés biofilmekre gyakorolt hatásának vizsgálatához 4 hetes kolonizációs időszakot követően a mintatartókat kiemeltük a Velencei-tóból és tóvízzel megtöltött hűtőtáskában a laboratóriumba szállítottuk. A biofilmeket további két héten keresztül velencei-tavi vízzel töltött üveggádakban, kondicionált körülmények között növesztettük. A nyomelem-szennyezést NiSO_4 -, illetve $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ -törzsoldat adagolásával szimuláltuk, a víz nikkel, illetve ólom-koncentrációját $1,0 \cdot 10^{-6}$, $1,0 \cdot 10^{-5}$; és $1,0 \cdot 10^{-4}$ mol/dm³-re állítottuk be.. A hatodik hét elteltével az alzatokat kiemeltük, a biofilmeket a korábban leírtak szerint készítettük elő a vizsgálatokhoz.

A kolonizáció kezdeti szakaszának vizsgálatára egy velencei-tavi vízzel töltött üvegkádba kör alakú, plexi alzatokat tartalmazó mintatartót helyeztünk, majd 2, 6, 14, 30, 62 és 126 óra elteltével mintát vettünk a biológiai és direkt TXRF vizsgálatokhoz.

II.2. Mintaelőkészítés

A biofilm-mintákat fagyasztva szárítottuk (Hetotrap CT60e, Heto-Holten A/S, Allerød, Denmark), majd homogenizálást követően MDS-2100 CEM típusú, hőmérséklet- és nyomáskontrollált mikrohullámú készülékben, 1:8 arányú H_2O_2 : cc. HNO_3 -elegy segítségével feltártuk.

II.3. Elemanalitika

A biofilm-minták elemtartalmát ATOMIKA Instruments gyártmányú, EXTRA IIA típusú totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrométerrel határoztuk meg. A röntgensugárzás előállítására mikrofókuszú Mo- és W-csővek szolgáltak, melyek 50 kV és 38 mA üzemi paraméterekkel jellemezhetők. A mintában lévő elemek által emittált fluoreszcens fotonok detektálása energiadiszipatív Si(Li) félvezető detektor segítségével történt. A készülék felbontóképessége 156 eV. Belső standardként galliumot alkalmaztunk, az integrálási idő 500 -1000 s volt.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A TXRF mérés technika analitikai teljesítőképességének vizsgálata biofilmek elemanalitikai vizsgálatára:

1.1. A TXRF-módszer analitikai teljesítőképességének (kimutatási határ, pontosság, ismételhetőség, dinamikus tartomány) vizsgálata alapján igazolást nyert, hogy a totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria alkalmas a perifiton közösségek esszenciális és toxikus elemkoncentrációinak meghatározására mikrohullámmal támogatott, savas feltárást követően.

1.2. A kolonizáció kezdeti szakaszának elemanalitikai vizsgálatai alapján megállapítható, hogy az elemkoncentrációk változása nyomon követhető direkt TXRF-mérésekkel a vizsgált időtartamban.

2. A kolonizációs folyamat időfüggésének vizsgálata:

2.1. A biofilmek száraz tömege a kolonizáció 7. hetén érte el a maximumát és ezen időszak alatt a biomassza tömege lineárisan növekedett, azaz a mikroorganizmusok kolonizációja és szaporodása közel állandó sebességgel történt egy adott rétegvastagság eléréséig.

2.2. A biofilmekben a vas, a mangán és a kálium száraz tömegre vonatkoztatott koncentrációja az 5.-6. heti maximumot követően közel állandó értéket mutatott. A kalcium, a stroncium és a titán biofilmekben mért koncentrációja a 4. héten érte el a maximumát, majd enyhe csökkenést követően stabilizálódott. A biofilmek cink-koncentrációja pedig a vizsgálat időtartama alatt csak a szórásstartományon belül változott.

2.3. A 6 hetes biofilmek mérési eredményei alapján számolt elemakkumulációk mértéke a vizsgált elemek esetében 10^3 - 10^4 nagyságrendű dúsítási faktorról volt jellemezhető.

2.4. A biomassza adatok, az elemkoncentrációk, valamint az algológiai vizsgálatok adatai alapján öt-hat hetes kolonizációs időtartam szükséges ahhoz, hogy megfelelő mennyiségű biofilm-minta álljon rendelkezésre a vizsgálatok elvégzéséhez, illetve a perifiton közösség mind algológiai, mind elemanalitikai szempontból stabil képet mutasson. A 6 hétig tartó kolonizációs időtartam alatt a biofilm és a vízfázis között kialakul egy egyensúlyi állapot, így a közösség a környezeti feltételeket tükrözi és a vízszennyezés indikátoraként szolgálhat, tehát biomonitorozás céljára felhasználható.

3. A mesterséges alzatokon kialakult perifiton közösségek alzatfüggésének vizsgálata három évszakban:

3.1. A biotermés mennyisége tavasszal mutatott maximumot mind az öt alzat esetében és tavasz > nyár > őszi sorrendben csökkent (kivéve az avas nád esetén). Az alzatfüggést vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a biofilm mennyisége mindhárom évszakban az andezit és a gránit alzatokon volt a legnagyobb, ezeknek az alzatoknak a kedvező felületi tulajdonságaival (értékeség, polaritás) összhangban.

3.2. A biofilmekben mért kalcium-, vas-, mangán-, stroncium- és titán-koncentráció nyáron, míg a cink-koncentráció őszi mutatott maximumot mind az öt alzat esetén. A kálium-koncentráció szórásstartományon belül változott évszaktól és alzattól függetlenül. Az elemkoncentrációk alzatfüggését vizsgálva mindhárom évszakban megállapítást nyert, hogy az elemtartalom nem függ jelentős mértékben az alzat minőségétől.

3.3. Az algaközösségek vizsgálati eredményei arra utalnak, hogy a legdiverzebb közösségek a gránit, az andezit és az avas nád alzatokon alakultak ki. A plexi és a polikarbonát alzatokon a kis algafajszámok mellett mindhárom évszakban az *Achnantes minutissima* jelentős dominanciája volt megfigyelhető. Tehát ezek az alzatok nem a legalkalmasabbak biomonitorozási célra, mivel a környezeti hatásokra adott közösségszintű biológiai válaszreakciókat a kialakult szélsőséges dominanciák elfedhetik.

3.4. A bakteriológiai vizsgálatok alapján az andezit tekinthető a legkevésbé preferált alzatnak, mert az andeziten kialakult közösség hasznosította a legkevésbé szénforrást és a baktériumközösség szubsztrát-hasznosítását jellemző értékek is az andeziten voltak a legkisebbek.

3.5. A biofilm alzatfüggésének vizsgálati eredményeit összesítve az a következtetés vonható le, hogy a Velencei-tó esetén a biomonitorozási célra a legalkalmasabb alzat a gránit.

4. A víz nikkel- és ólomszennyezésének hatásai a biofilmekre:

4.1. A perifiton közösség biotermésének tömege nikkel-terhelés hatására jelentősen (35-50 %-kal) csökkent, azaz a nikkel-szennyezés a közösségben élő mikroorganizmusok anyagcseréjét, ezáltal a biofilm érési folyamatát kedvezőtlenül befolyásolta. Ezzel szemben az ólom-terhelés nem befolyásolta a biotermés mennyiségét, még a legnagyobb alkalmazott ólom-koncentráció ($1,0 \cdot 10^{-4}$ mol/dm³) esetében sem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kontroll mintához képest.

4.2. A biofilmekben mért nikkel-és ólomkoncentráció a víz nyomelem-koncentrációjának növelésével nőtt, tehát biofilmekben mért koncentrációk a vízi környezet nyomelem-terhelését jól reprezentálták. A mérési adatok alapján az ólom perifiton közösség általi szorpciója egy telítési görbével írható le a vizsgált koncentráció-tartományban ($1,0 \cdot 10^{-6}$, $1,0 \cdot 10^{-5}$ és $1,0 \cdot 10^{-4}$ mol/dm³), ezzel szemben a megkötött nikkel mennyisége közel lineáris a vízbeli nikkel-koncentráció függvényében és nem megy át telítésbe. Az ólom és a nikkel akkumulációjának mértéke a víz ólom- és nikkel-koncentrációjától függetlenül 10^3 nagyságrendű a vizsgált koncentráció-tartományban.

4.3. A biofilmek cink-koncentrációja ólom- és nikkel-szennyezés hatására csökkent mindhárom külső nyomelem-koncentráció esetén. Ezt feltehetően az okozza, hogy a Zn²⁺-ion felvétele bizonyos mértékig visszaszorul a Ni²⁺- és az Pb²⁺- ion jelenlétében, mivel a fenti három fémion a sejtekbe általában ugyanazon a tápanyag-felvételi rendszereken keresztül jut be, így az esszenciális ion és a toxikus ion között a kötőhelyekért kompetíció alakul ki és a koncentrációkülönbségek következtében az esszenciális ion felvétele gátolható.

4.4. A nikkel-, illetve ólom-kezelés hatására a legnagyobb alkalmazott koncentráció esetén a biofilmekben mért vas-koncentráció nőtt a kontrollhoz viszonyítva. Ennek lehetséges oka az, hogy az Pb²⁺- és Ni²⁺-ionok a sejtekbe

bejutva, egy kritikus sejten belüli koncentrációt meghaladva befolyásolják az enzimszisztemek működését, megváltoztatva ezzel a sejtek metabolizmusát.

4.5. A nikkel- és ólomterhelés a kalcium, a kálium, a mangán, a stroncium és a titán biofilmekben mért koncentrációját nem befolyásolta szignifikánsan az alkalmazott koncentráció-tartományban.

4.6. Az algológiai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az ólomterhelés az algaközösséget nem befolyásolta jelentős mértékben. Nikkelkezelés hatására is mindössze az algák fajösszetétele változott meg, ami az algákban nyomelem-szennyezések hatására kialakuló védekező mechanizmusokkal, pl. fitokelatinok képződésével magyarázható.

4.7. Nikkel-terhelés hatására a bakteriális közösség anyagcsere-mintázata átrendeződött a közösség fajösszetételének megváltozása nélkül, míg ólom-kezelés következtében a baktériumközösség cukor- és cukorszármazék-hasznosítása nagymértékben visszaszorult és $1,0 \cdot 10^{-4}$ mol/dm³-es ólom-kezelés esetén a közösség fajszáma is csökkent. A baktériumok anyagcsere-mintázatának változása (a szénforrás-váltás és bizonyos szénforrások hasznosításának visszaszorulása) összhangban van a vas- és cinkkoncentrációkban tapasztalt változásokkal.

5. A kolonizáció kezdeti szakaszának vizsgálata:

5.1. A vizsgálat időtartama alatt (126 óra) mind az algák egyedszáma, mind a fajszáma gyors, de időben lassuló növekedést mutatott és a baktériumközösség által hasznosított szénforrások száma telítési görbét írt le az idő függvényében. Már az első mintavétel időpontjában (2. óra) detektálhatóak a baktériumok és az első algasejtek az alzáton.

5.2. Az algológiai és bakteriológiai vizsgálatokkal összhangban a vizsgált elemek mennyisége a kísérlet időtartama alatt folyamatos növekedést mutatott. A vas és a kálium a vízbe merítést követő 2. órától, a

kalcium, a cink és a stroncium a 6. órától, a mangán a 14. órától volt detektálható. A mért adatok relatív standard deviációja a vizsgálat előrehaladásával – a meghatározandó mennyiségek növekedésével – jelentősen csökkent.

IV. KÖZLEMÉNYEK

IV.1. Az értekezés témájához kapcsolódó referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Kröpfel, K., Záray, Gy., Ács, É. (2003): Investigation of lead and nickel contaminated natural biofilms, *Spectrochimica Acta Part B*, 58:2177-2181
2. Kröpfel, K., Záray, Gy., Vladár, P., Mages, M., Ács, É. (2003): Study of biofilm formation by total-reflection X-ray fluorescence spectrometry, *Microchemical Journal*, 75:133-137
3. Záray, Gy., Kröpfel, K., Szabó, K., Taba, Gy., Ács, É., Berlinger, B., Dogan, M., Salih, B., Akbulut, A. (2005): Comparison of freshwater biofilms grown on polycarbonate substrata in Lake Velence (Hungary) and Lake Mogan (Turkey), *Microchemical Journal*, 79:145-148
4. Ács, É., Borsodi, A.K., Kröpfel, K., Vladár, P., Záray, Gy. (2007): Changes in the algal composition, bacterial metabolic activity and element content of biofilms developed on artificial substrata into the early phase of colonization, *Acta Botanica Croatica*, 66:89-100

IV.2. Az értekezés témájához kapcsolódó konferencia előadások:

1. Kröpfel, K., Záray, Gy., Ács, É.: Biofilmek elemtartalmának meghatározása TXRF-módszerrel, 45. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Siófok, Magyarország, 2002.07.01.-03.

2. Záray, Gy., Kröpfl, K.: Chemical characterization of biofilms by TXRF-spectrometry, 9th Conference on TXRF Analysis and Related Methods, Funchal, Portugal, Sept. 8-13, 2002, p.45
3. Záray, Gy., Kröpfl, K., Ács, É.: Chemical and biological characterization of biofilms, VII. National Spectroscopic Conference, Bursa, Turkey, 2002
4. Kröpfl, K., Záray, Gy., Vladár, P., Ács, É.: Biofilmek elemtartalmát befolyásoló tényezők vizsgálata, 46. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Szeged, Magyarország, 2003.06.30.-07.02., p.123-127
5. Záray, Gy., Kröpfl, K., Mages, M., Óvári, M.: Monitoring of surface waters by biofilms, XI. Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry, Venice, Italy, 2003, p.45
6. Kröpfl, K., Záray, Gy., Vladár, P., Taba, Gy., Ács, É.: Nikkel- és ólomkezelés hatása a Velencei-tavon fejlődött biofilmek összetételére, Vegyészkonferencia 2004, 47. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Bioanalitika 2004 Szimpózium, Balatonföldvár, Magyarország, 2004.06.30.-07.02., p.193-196
7. Záray, Gy., Kröpfl, K., Vladár, P., Ács, É.: Biofilms as biomonitors: Chemical and biological approaches, XVII. Slovenská spektroskopická konferencia, Tatranské Zruby, Slovakia, 5-9 Sept, 2004
8. Záray, Gy., Kröpfl, K., Vladár, P., Ács, É.: Chemical and biological informations stored by freshwater biofilms, IX Latin American Seminary of Analysis by X-Ray Techniques, La Falda-Córdoba, Argentina, October 25-29, 2004
9. Kraft, J., Kröpfl, K., Záray, Gy., Einax, J.W.: Influence of the composition of various base substrates on the properties of naturally grown

biofilms, 11th Conference on Total Reflection X-ray Fluorescence Analysis and Related Methods, Budapest, Hungary, Sept. 18-22, 2005, p.42

10. Kröpfl, K., Záray, Gy., Ács, É., Borsodi, A: Chemical and biological characterization of biofilms formed in the aquatic environment, XVI Hungarian – Italian Symposium on Spectrochemistry: Technological innovation for water science and sustainable aquatic biodiversity, Budapest, Hungary, Oct. 4-6, 2018, p.42

IV.3. Egyéb referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Sárvári, É., Gáspár, L., Fodor, F., Cseh, E., Kröpfl, K., Varga, A., Baron, M. (2002): Comparison of the effects of Pb treatment on thylakoid development in poplar and cucumber plants, Acta Biologica Szegediensis, 46:163-165
2. Óvári, M., Mages, M., Woelfl, S., Tuempling, W.v., Kröpfl, K., Záray, Gy. (2004): Total reflection X-ray fluorescence spectrometric determination of element inlets from mining activities at the upper Tisza catchment area, Hungary, Spectrochimica Acta Part B, 59:1173-1181
3. Mages, M., Óvári, M., Tümppling, W.v., Kröpfl, K. (2004): Biofilms as bio-indicator for polluted waters? Total reflection X-ray fluorescence analysis of biofilms of the Tisza river (Hungary), Analytical and Bioanalytical Chemistry, 378:1095-1101
4. Óvári, M., Mages, M., Woelfl, S., Tümppling, W.v., Kröpfl, K. (2004): Investigation of the bioavailability of metals bound on sediments for periphyton communities (biofilm) in freshwaters, Metal Ions in Biology and Medicine, 8:31-314

5. Sárvári, É., Gáspár, L., Kröpfl, K., Fodor, F., Cseh, E. (2004): Comparison of the effects of Cd toxicity with iron and manganese deficiency on thylakoid development in poplar, *Acta Physiologiae Plantarum*, 26:210-211

6. Fodor, F., Gáspár, L., Morales, F., Gogorcena, Y., Lucena, J.J., Cseh, E., Kröpfl, K. (2005): Effects of two iron sources on iron and cadmium allocation in poplar (*Populus alba*) plants exposed to cadmium, *Tree Physiology*, 25:1173-1180

7. Kovács, S., Gáspár, L., Cseh, E., Kröpfl, K., Sárvári, É. (2005): Protective effects of phosphonomethyl-sarcosine against copper and cadmium induced inhibition of leaf development in poplar, *Acta Biologica Szegediensis*, 49:61-63

8. Kröpfl, K., Vladár, P., Szabó, K., Ács, É., Borsodi, A.K., Szikora, Sz., Caroli, S., Záray, Gy. (2006): Chemical and biological characterization of biofilms formed on different substrata in Tisza-river (Hungary), *Environmental Pollution*, 144:626-631

9. Mihucz, V.G., Móricz, Á.M., Kröpfl, K., Szikora, Sz., Tatár, E., Parra, L.M.M., Záray, Gy. (2006): Development of off-line chromatographic and total reflection X-ray fluorescence spectrometric methods for arsenic speciation, *Spectrochimica Acta Part B*, 61:1124-1128

IV.4. Egyéb konferencia előadások:

1. Tusor, K., Záray, Gy., Varga, A., Fodor, F.: Effects of Cd-stress on the distribution of essential elements in poplar plants (*Populus alba*), IV. European Conference on Environmental Analytical Chemistry, Visegrád, Hungary, 14-18 September, 2000

2. Záray, Gy., Varga, A., Tusor, K.: Study of Cd- and Lead-Stress on Plants by TXRF Spectrometry, XXXII. CSI, Pretoria, South Africa, 8-13 July, 2001

3. Záray, Gy., Varga, A., Tusor, K.: Heavy metal stress on plants followed by TXRF spectrometry, X. Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry: Trace substances in the biosphere, Eger, Hungary, Oct. 1-5, 2001, p.72

4. Fodor, F., Mihucz, V.G., Kröpfl, K., Tatár, E., Jun, Y., Cseh, E., Záray, Gy.: As(III) és As(V) felvételének vizsgálata uborkanövényekben totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometriai módszerrel, Vegyészkonferencia 2004, 47. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Bioanalitika 2004 Szimpózium, Balatonföldvár, Magyarország, 2004.06.30.-07.02., p.202-205

5. Fodor, F., Záray, Gy., Kröpfl, K., Mihucz, V.G., Yao, J., Cseh, E.: Uptake and translocation of arsenic in cucumber plants grown in nutrient solutions contaminated with As(V) or As(III), Proceedings of the 8th International Symposium on Metal Ions in Biology and Medicine, , Budapest, Hungary, May 18-22, 2004, p.186-189

6. Mihucz, V.G., Móricz, Á., Kröpfl, K., Szikora, Sz., Tatár, E., Virág, I., Marcó-Parra, L.-M., Otta, K.H., Záray, Gy.: Arsenic speciation by thin layer chromatographic and total reflection X-ray fluorescence or inductively coupled plasma mass spectrometric methods, 11th Conference on Total Reflection X-ray Fluorescence Analysis and Related Methods, Budapest, Hungary, Sept. 18-22, 2005, p.41

7. Dobosy, P., Sandil, S., Kröpfl, K., Óvári, M., Záray, Gy.: Study of iodine uptake and translocation processes in a bean-sandy soil system by ICP-MS

Colloquium Analytische Atomspektroskopie, European Symposium on Atomic Spectrometry, Anwendertreffen Plasmaspektrometrie, Berlin, Germany, Mar. 20-23, 2018

8. Sandil, S., Óvári, M., Dobosy, P., Kröpfl, K., Záray, Gy.: Study of Arsenic Uptake and Translocation in Bean Plant by ICP-MS

Colloquium Analytische Atomspektroskopie, European Symposium on Atomic Spectrometry, Anwendertreffen Plasmaspektrometrie, Berlin, Germany, Mar. 20-23, 2018

9. Dobosy, P, Sandil, S, Kröpfl, K., Óvári, M, Záray, Gy: Study of uptake and translocation processes in a beancalcareous sandy soil system irrigated with KI containing water, XVI Hungarian – Italian Symposium on Spectrochemistry: Technological innovation for water science and sustainable aquatic biodiversity, Budapest, Hungary, Oct. 4-6, 2018, p.56

10 Sandil, S, Dobosy, P, Kröpfl, K., Óvári, M, Záray, Gy: Uptake and translocation of arsenic in bean and lettuce plants, XVI Hungarian – Italian Symposium on Spectrochemistry: Technological innovation for water science and sustainable aquatic biodiversity, Budapest, Hungary, Oct. 4-6, 2018, p.55